

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03719

研究課題名(和文)超音波を用いた結晶構造がもつカイラリティとフラストレーションによる多極子物性研究

研究課題名(英文) Ultrasonic study on the physical properties of multipoles due to structural chirality and/or geometrical frustration

研究代表者

石井 勲 (Ishii, Isao)

広島大学・先進理工系科学研究科(先)・准教授

研究者番号：20444713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：超音波分光法を用いて結晶構造がもつカイラリティや幾何学的フラストレーションに起因した多極子物性の研究を行った。カゴメ格子状物質では電気四極子の感受率である弾性率の磁場掃引に対する履歴現象を観測した。幾何学的フラストレーションに起因した電気四極子ガラスの可能性がある。一方、2つの異なる結晶軸への磁場印可によって、秩序変数が異なる磁場誘起の電気四極子秩序が出現する物質を明らかにした。電気四極子は歪みと結合するため、磁場印加方向によって巨視的な自発歪みをスイッチ出来る新規マルチフェロイクスの可能性を示した。また、通常起こり得ない磁気秩序状態下での電気四極子秩序を示す物質も明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、これまでに報告されていない新たな多極子物性の知見が得られた。以下に特筆すべき内容を列挙する。(1)幾何学的フラストレーションに起因した電気四極子ガラスの可能性。(2)磁場印可の結晶軸方向によって発生する巨視的な自発歪みをスイッチ出来る新規マルチフェロイクスの可能性。(3)一般的には起こり得ない磁気秩序下での電気四極子秩序の発見。

研究成果の概要(英文)： The physical properties of multipoles due to structural chirality and/or geometrical frustration were investigated by using ultrasonic spectroscopy. In Dy₃Ru₄Al₁₂ with a distorted kagome lattice, the elastic modulus (quadrupolar susceptibility) shows large hysteresis in the pulsed magnetic-field sweep. There is a possibility that this hysteresis is caused by a quadrupolar glass state due to geometrical frustration. We clarified field-induced ferroquadrupolar states for two different magnetic-field directions in DyNiAl. The electric quadrupole bilinearly couples to a corresponding strain. This result means that two different spontaneous strains emerge depending on the field directions, suggesting a novel multiferroics using switching of the spontaneous strains by the field directions. We also discovered ferroquadrupolar ordering in a magnetically ordered state in ErNiAl, although no quadrupolar ordering occurs in a magnetically ordered state in principle.

研究分野：物性物理学

キーワード：電気四極子 カイラリティ 幾何学的フラストレーション

1. 研究開始当初の背景

サステナブルな社会に向けた新機能物性の研究は、これまでの物質中の電子がもつ電荷やスピンの自由度に加えて軌道の自由度も注目され、2015年-2020年には「J-Physics：多極子伝導系の物理」が新学術領域に採択されるなど、国内外で精力的に研究されている。強いスピン軌道相互作用により発現する、希土類化合物における電気四極子および高次多極子の秩序化、磁気四極子などの奇パリティ多極子や、鉄系超伝導体における軌道揺らぎを媒介とする超伝導などの多彩な物理が明らかになっており、多極子の理解は今後の新機能物質開発に貢献すると考えられている。

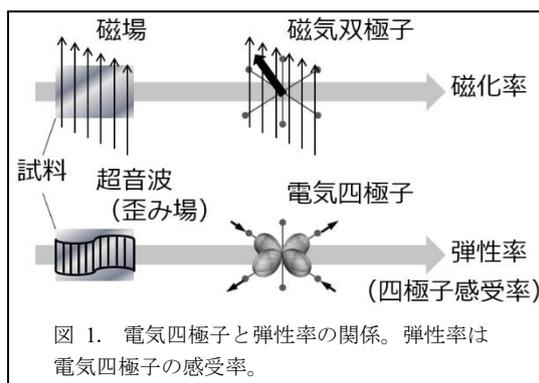
ここで、スピンにおいては結晶構造がもつ特異性に起因した物性研究が盛んに行われている。例えばカイラリティ（対掌性：右手と左手のように実像と鏡像を重ね合わせることができない性質）をもつ物質においては、右巻きもしくは左巻きのみのカイラルらせん磁気秩序や、それが磁場によって周期的にほどけたカイラルソリトン格子などが注目されている [1]。一方、反強磁性体でスピンが安定な配置を取れない幾何学的フラストレーションをもつ物質では、スピンが低温まで量子ゆらぎ状態にある量子スピン液体などの新奇な物理現象が注目されている [2]。これらの結晶構造の特異性に起因した物性研究は多極子にも拡大できるはずであるが、多極子における結晶構造がもつカイラリティや幾何学的フラストレーションに起因した物性は必ずしも解明されていない。

2. 研究の目的

本研究では、物質の結晶構造がもつ特異性であるカイラリティや幾何学的フラストレーションに起因した電気四極子のカイラルらせん秩序や、フラストレーション効果による電気四極子のゆらぎと量子ゆらぎとが相まった量子臨界現象などの解明を目的とした。本代表者らの研究で多極子による電子状態に富むことが明らかになった、結晶構造のカイラリティや幾何学的フラストレーションをもつ物質群である三方晶カイラル化合物 RNi_3X_9 、六方晶カゴメ格子状化合物 $R_3Ru_4Al_{12}$ および $RNiAl$ (R : 重希土類, $X = Ga, Al$) に着目して系統的な研究を行う。

3. 研究の方法

超音波実験では、弾性係数の実数部である弾性率と、虚数部である超音波吸収を測定できる。超音波による歪み場は対応する電気四極子と線形に結合する。図1に示すように、磁化率が磁気双極子の感受率になっているのと同様に、弾性率は電気四極子の感受率になっており、超音波実験は電気四極子の優れたプローブである。一方で、超音波吸収や測定周波数依存性の測定からは、動的臨界指数などの相転移の動的性質も調べることが出来る。



(1) カイラリティ

超音波実験用設備備品、消耗品を購入してフェロ的な電気四極子秩序を明らかにしている三方晶カイラル化合物 $DyNi_3Ga_9$ の磁場中弾性率測定を行い、秩序状態の磁場中相図を明らかにする。超音波吸収や測定周波数依存性測定も行い、動的臨界指数などの相転移の動的性質も明らかにする。これらの電気四極子応答から、電気四極子のカイラルらせん秩序の有無を明らかにする。カイラリティ、幾何学的フラストレーションの両テーマ共に、希土類などを置換した化合物についても超音波実験を行い、系統的研究を行う。 RNi_3X_9 単結晶試料は名古屋工業大学の原繁男教授から提供を受ける。

(2) 幾何学的フラストレーション

電気四極子が幾何学的フラストレーション状態にある六方晶カゴメ格子状化合物 $Dy_3Ru_4Al_{12}$ では、磁場方向 $H // [100], [001]$ での磁場誘起の電気四極子秩序を明らかにしているが、その臨界磁場は明らかではない。14 T を超える超高磁場が必要な為、ドイツ国立ドレスデン強磁場研究所の Zherlitsyn 博士らと協力して 1.5 K で 55 T までのパルス磁場中超音波実験を行い、臨界磁場を明らかにする。磁場誘起の電気四極子秩序の臨界磁場近傍での弾性率、超音波吸収、測定周波数依存性を測定し、これらの電気四極子応答から、電気四極子のゆらぎに起因した量子臨界現象の有無を解明する。他の $R_3Ru_4Al_{12}$ や、六方晶カゴメ格子状化合物 $RNiAl$ の超音波実験も行って電気四極子の相互作用、秩序化を明らかにすると共に幾何学的フラストレーション状態の有無を明らかにする。両物質群とも希土類を置換した系統的研究を行う。 $R_3Ru_4Al_{12}$, $RNiAl$ 単結晶試料はチェコ国立アカデミーの Andreev 教授から提供を受ける。

4. 研究成果

(1) 令和1年度

カイラル化合物 DyNi_3Ga_9 について、ドイツ国立ドレスデン強磁場研究所において Zherlitsyn 博士、Gorbunov 博士らとの共同研究でパルス磁場中および静磁場中で超音波実験を行った。フェロ的な電気四極子秩序温度以下での弾性率 C_{11} , C_{66} の磁場依存性 ($H // [001]$) において明確な弾性異常を観測した。両磁場中実験の結果から、これまで報告されていない磁場誘起相転移であることを明らかにし、磁場中相図を解明した。また、同研究所では幾何学的フラストレーションをもつカゴメ格子状化合物 $\text{Dy}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ の 50 T までのパルス磁場中超音波実験を行った。その結果、電気四極子 (O_{yz} or O_{zx}) に対応した横波弾性率 C_{44} において超高磁場で明確な弾性異常を観測した。その弾性異常の起源については、幾何学的フラストレーションに起因した電気四極子ガラスの可能性も含めて研究を継続している (後述)。

超音波実験用設備備品、消耗品を購入して $\text{R}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ の R を置換した $\text{Tb}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ の超音波実験を行い、横波弾性率 C_{66} において電気四極子に起因した弾性ソフト化を観測した。磁場中超音波実験も行い、磁場中相図も明らかにした。得られたデータの量子力学的解析から電子状態を明らかにし、結晶場基底状態は一重項であるが、第一励起一重項と擬縮重状態を形成し、その擬二重項のスピン自由度によって反強磁性秩序を示すことを明らかにした。電気四極子の相互作用も擬縮重状態に起因することを明らかにし、学術論文として公表した。同様に R を置換した $\text{Nd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ や $\text{Er}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ 、および $\text{U}_2\text{Rh}_2\text{Sn}$ もデータの量子力学的解析からその電子状態を明らかにし、学術論文として公表した。 $\text{U}_2\text{Rh}_2\text{Sn}$ の論文は *Physical Review B* 誌の Editors' Suggestion に選ばれた。

カゴメ格子状化合物 DyNiAl の超音波実験を行い、電気四極子に起因した弾性ソフト化を観測し、 DyNiAl も強い電気四極子の相互作用をもつことを明らかにした。結果の一部を学術論文として公表した。

(2) 令和2年度

DyNiAl の超音波実験において得られたデータの量子力学的解析から、弾性ソフト化が電気四極子に起因することを明らかにするとともに、その電子状態を明らかにした。磁場中超音波実験から2つの異なる結晶軸方向への磁場印可による磁場誘起相転移の存在を明らかにした。実験結果と結晶場計算結果から、図2に示すように、 $H // [100]$ では電気四極子 O_{xy} 、 $H // [001]$ では O_{yz} と、それぞれ異なる電気四極子を秩序変数にもつフェロ的な電気四極子秩序であることを明らかにした。これは磁場印加する結晶軸を変えると、発生する電気四極子の秩序変数も変わることを意味する。電気四極子は同じ対称性の歪みと線形に結合するため、フェロ的な電気四極子秩序では巨視的な自発歪みが誘起される。磁場印加の方向によって発生する電気四極子の秩序相が異なることは、磁場方向によって巨視的な歪み方が異なることになり、これは磁場方向によって巨視的な自発歪みをスイッチ出来る新規マルチフェロイクスの可能性を示唆する。研究成果は学術論文として公表し、磁場方向による巨視的歪みのスイッチング機構の実証に向けて研究を継続中である。

R を置換した HoNiAl や ErNiAl の超音波実験を行って両物質で電気四極子に起因した弾性ソフト化を観測し、両物質も強い電気四極子の相互作用をもつことを明らかにした。この他に希土類化合物 $\text{NdOs}_2\text{Zn}_{20}$, $\text{NdIr}_2\text{Zn}_{20}$ では $4f$ 電子に起因した磁場に依存しない弾性ソフト化を見出した (後述)。

(3) 令和3年度

カゴメ格子状化合物 ErNiAl の超音波実験において、磁気秩序温度 (T_N) 以下で、これまでに報告されていない新たな相転移を見出した。この相転移温度 (T_Q) 近傍では磁化率は明確な異常を示さないが、図3に示すように横波弾性率 C_{66} において著しい超音波吸収を伴った巨大な弾性ソフト化を観測した。得られたデータの量子力学的解析から、ソフト化が電気四極子に起因することを明らかにすると共に、その電子状態を明らかにした。横波弾性率 C_{66} の巨大なソフト化や結晶場計算結果から、新たな相転移の起源がフェロ的な電気四極子秩序であることを解明した。一般的に、磁気秩序下では発生した内部磁場によって電気四極子の自由度が取り除かれるため、電気四極子秩序は起こり得ない。しかしながら、 ErNiAl は磁気秩序下で電気四

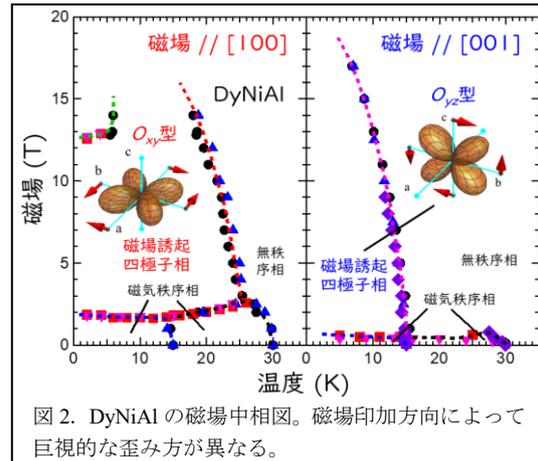


図2. DyNiAl の磁場中相図。磁場印加方向によって巨視的な歪み方が異なる。

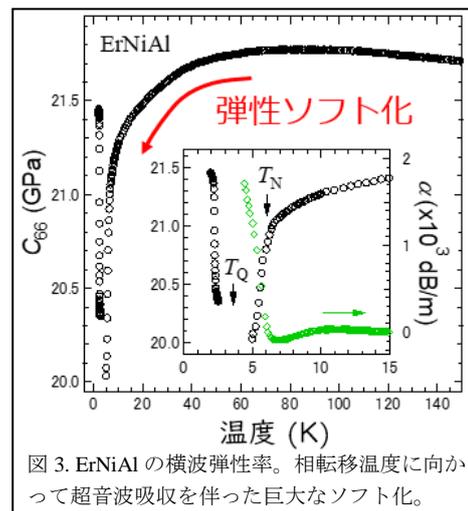


図3. ErNiAl の横波弾性率。相転移温度に向かって超音波吸収を伴った巨大なソフト化。

極子秩序を示す、極めて珍しい物質であることを明らかにした。研究成果は学術論文として公表した。

同系化合物 HoNiAl では横波弾性率 C_{44} , C_{66} の両モードで電気四極子の相互作用による弾性ソフト化を観測した。量子力学的解析から電子状態を明らかにした結果、結晶場基底一重項が励起状態と擬縮重状態を形成し、その擬縮重状態での自由度によって磁気秩序や電気四極子によるソフト化が起こることを明らかにした。磁場中超音波実験から磁場誘起相転移を見出し、その磁場中相図は結晶場基底状態が異なるにもかかわらず DyNiAl と類似していることを明らかにした。磁場誘起相転移の起源や DyNiAl との類似性（磁場方向による巨視的な自発歪みのスイッチング機能の有無）の解明は今後の課題である。

ドレスデン強磁場研究所にて、Zherlitsyn 博士らとの共同研究で $\text{Dy}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ の 55 T までのパルス磁場中超音波実験を行った。令和 1 年度の結果と併せて、磁場方向 $H // [100]$ で新たに 30 T を超える超高磁場での磁場誘起相転移を見出した。磁場方向 $H // [001]$ では電気四極子 (O_{yz} or O_{zx}) に対応した横波弾性率 C_{44} において巨大なヒステリシスを観測した。その起源として幾何学的フラストレーションに起因した電気四極子グラスや磁気熱量効果が可能性として挙げられ、継続して研究を行って起源を解明する。

一方、 $\text{NdCo}_2\text{Zn}_{20}$ の磁場中超音波実験から、全ての弾性モードで磁場に鈍感な弾性ソフト化を観測した。Nd 希釈系 $\text{Nd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Co}_2\text{Zn}_{20}$ ($x = 0, 0.06, 0.19$) の超音波実験では極低温までソフト化を示さないことから、 $\text{NdCo}_2\text{Zn}_{20}$ のソフト化は f 電子に起因するが、結晶場効果などの Nd 単サイトの効果ではないことを明らかにした。Nd 複数サイト間の相互作用で弾性ソフト化を説明することも明らかにし、論文投稿準備中である。

<引用文献>

- [1] Y. Togawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. **108**, 107202 (2012). 等
- [2] L. Balents, Nature **464**, 199 (2010). 等

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 I. Ishii, Y. Kurata, Y. Wada, M. Nohara, T. Suzuki, K. Araki, and A. V. Andreev	4. 巻 105
2. 論文標題 Ferroquadrupolar ordering in a magnetically ordered state in ErNiAl	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 165147(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.165147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 I. Ishii, D. Suzuki, T. Umeno, Y. Kurata, Y. Wada, T. Suzuki, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, A. Miyata, S. Zherlitsyn, and J. Wosnitzer	4. 巻 103
2. 論文標題 Distinct field-induced ferroquadrupolar states for two different magnetic-field directions in DyNiAl	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 195151(9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.195151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 I. Ishii, T. Mizuno, S. Kumano, T. Umeno, D. Suzuki, Y. Kurata, T. Suzuki, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, and A. V. Andreev	4. 巻 101
2. 論文標題 Magnetic transition due to the inter-singlet spin-exchange interaction and elastic softening by the interplay of electric quadrupoles in the distorted kagome lattice antiferromagnet Tb ₃ Ru ₄ Al ₁₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 165116(7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.165116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 I. Ishii, T. Mizuno, S. Kumano, T. Umeno, D. Suzuki, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, and T. Suzuki	4. 巻 30
2. 論文標題 The Crystal Electric Field Effect in the Distorted Kagome Lattice Ferromagnet Nd ₃ Ru ₄ Al ₁₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011161(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Suzuki, T. Mizuno, S. Kumano, T. Umeno, D. Suzuki, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, and I. Ishii	4. 巻 30
2. 論文標題 Ultrasonic Dispersion in the Hexagonal Ferromagnet Nd ₃ Ru ₄ Al ₁₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011091(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011091	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 S. Kumano, I. Ishii, R. Horio, T. Mizuno, T. Umeno, D. Suzuki, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, T. Yamamura, and T. Suzuki	4. 巻 30
2. 論文標題 Low frequency dependent elastic modulus in UCo _{1-x} O _s xAl	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011173(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011173	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Umeno, I. Ishii, S. Kumano, D. Suzuki, R. Yamamoto, T. Onimaru, and T. Suzuki	4. 巻 30
2. 論文標題 Crystal electric field response in elastic modulus without rattling effect in the cage compound NdCo ₂ Zn ₂ O	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011162(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011162	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 D. Suzuki, I. Ishii, S. Kumano, T. Umeno, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, and T. Suzuki	4. 巻 30
2. 論文標題 Quadrupolar response from the crystal electric field level scheme consisting of only Kramers doublets in DyNiAl	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011165(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 D. I. Gorbunov, A. V. Andreev, I. Ishii, K. Prokes, T. Suzuki, S. Zherlitsyn, and J. Wosnitza	4. 巻 101
2. 論文標題 Acoustic signatures of the phase transitions in the antiferromagnet U2Rh2Sn	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 014408(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.014408	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 D. I. Gorbunov, I. Ishii, Y. Kurata, A. V. Andreev, T. Suzuki, S. Zherlitsyn, and J. Wosnitza	4. 巻 101
2. 論文標題 Crystal-field effects in Er3Ru4Al12 with a distorted kagome lattice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 094415(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.094415	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 石井勲, 蔵田湧紀, 和田侑樹, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, 野原実, 鈴木孝至
2. 発表標題 ErNiAlにおける逐次相転移と巨大弾性ソフト化
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田侑樹, 石井勲, 蔵田湧紀, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, 野原実, 鈴木孝至
2. 発表標題 HoNiAlにおける磁場中弾性率と磁気相図
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井勲, 梅野寛大, 湯浅直輝, 鈴木健人, 蔵田湧紀, 和田侑樹, 山本理香子, 鬼丸孝博, 野原実, 鈴木孝至
2. 発表標題 Nd _{1-x} Y _x Co ₂ Zn ₂₀ における弾性ソフト化のY置換効果
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蔵田湧紀, 石井勲, 和田侑樹, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, 野原実, 鈴木孝至
2. 発表標題 ErNiAlにおける弾性ソフト化と4f電子状態
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田侑樹, 石井勲, 蔵田湧紀, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, 野原実, 鈴木孝至
2. 発表標題 弾性応答によるHoNiAlの4f電子状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木健人, 石井勲, 梅野寛大, 蔵田湧紀, 和田侑樹, 山本理香子, 鬼丸孝博, 野原実, 鈴木孝至
2. 発表標題 NdIr ₂ Zn ₂₀ における弾性ソフト化と磁気秩序の磁場応答
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井勲, 野口慈仁, 荒木幸治, 加藤健一, 鈴木孝至
2. 発表標題 超音波によるYbRhGeの結晶場効果と磁場中相図の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木大地, 石井勲, 梅野寛大, 蔵田湧紀, 和田侑樹, A. V. Andreev, 宮田敦彦, D. I. Gorbunov, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, 鈴木孝至
2. 発表標題 DyNiAlにおける磁場誘起相転移
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蔵田湧紀, 石井勲, 梅野寛大, 鈴木大地, 和田侑樹, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, 鈴木孝至
2. 発表標題 超音波によるEr ₃ Ru ₄ Al ₁₂ の磁気相転移と磁場中相図の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田侑樹, 石井勲, 梅野寛大, 鈴木大地, 蔵田湧紀, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, 鈴木孝至
2. 発表標題 TmFe ₄ CoAl ₇ における逐次相転移の磁場中弾性応答
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井勲, 水野拓陽, 梅野寛大, 鈴木大地, 蔵田湧紀, 和田侑樹, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, 鈴木孝至
2. 発表標題 カゴメ格子磁性体Tb ₃ Ru ₄ Al ₁₂ の磁場中弾性率と結晶場効果II
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梅野寛大, 石井勲, 鈴木大地, 和田侑樹, 蔵田湧紀, 山本理香子, 鬼丸孝博, 鈴木孝至
2. 発表標題 超音波分光法を用いたカゴ状化合物NdRh ₂ Zn ₂₀ の相転移とラットリングに関する研究
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木大地, 石井勲, 梅野寛大, 蔵田湧紀, 和田侑樹, A. V. Andreev, 宮田敦彦, D. I. Gorbunov, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, 鈴木孝至
2. 発表標題 DyNiAlの磁場中弾性率と四極子応答III
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蔵田湧紀, 石井勲, 梅野寛大, 鈴木大地, 和田侑樹, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, 鈴木孝至
2. 発表標題 Er ₃ Ru ₄ Al ₁₂ における磁気相転移の弾性応答
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田侑樹, 石井勲, 梅野寛大, 鈴木大地, 蔵田湧紀, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, 鈴木孝至
2. 発表標題 超音波によるTmFe ₄ CoAl ₇ の逐次相転移の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 I. Ishii, T. Mizuno, S. Kumano, T. Umeno, D. Suzuki, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, and T. Suzuki
2. 発表標題 The Crystal Electric Field Effect in the Distorted Kagome Lattice Ferromagnet Nd ₃ Ru ₄ Al ₁₂
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Suzuki, T. Mizuno, S. Kumano, T. Umeno, D. Suzuki, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, and I. Ishii
2. 発表標題 Ultrasonic Dispersion in the Hexagonal Ferromagnet Nd ₃ Ru ₄ Al ₁₂
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kumano, I. Ishii, R. Horio, T. Mizuno, T. Umeno, D. Suzuki, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, T. Yamamura, and T. Suzuki
2. 発表標題 Low frequency dependent elastic modulus in UCo _{1-x} O _s xAl
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Umeno, I. Ishii, S. Kumano, D. Suzuki, R. Yamamoto, T. Onimaru, and T. Suzuki
2. 発表標題 Crystal electric field response in elastic modulus without rattling effect in the cage compound NdCo ₂ Zn ₂₀
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Suzuki, I. Ishii, S. Kumano, T. Umeno, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, and T. Suzuki
2. 発表標題 Quadrupolar response from the crystal electric field level scheme consisting of only Kramers doublets in DyNiAl
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Araki, N. Ouchi, R. Ueda, I. Ishii, T. Suzuki, A. Ochiai, and K. Katoh
2. 発表標題 Ultrasonic investigation of triangular-lattice-antiferromagnet YbCuGe
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井勲, 鈴木大地, 熊野聡一郎, 梅野寛大, A. V. Andreev, 宮田敦彦, D. I. Gorbunov, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, 鈴木孝至
2. 発表標題 超音波によるDyNiAlの結晶場効果と四極子相互作用の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梅野寛大, 石井勲, 熊野聡一郎, 鈴木大地, 和田侑樹, 蔵田湧紀, 山本理香子, 鬼丸孝博, 鈴木孝至
2. 発表標題 超音波分光法を用いたカゴ状化合物NdRh ₂ Zn ₂₀ の相転移とラットリングに関する研究
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木大地, 石井勲, 熊野聡一郎, 梅野寛大, 蔵田湧紀, 和田侑樹, A. V. Andreev, 宮田敦彦, D. I. Gorbunov, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, 鈴木孝至
2. 発表標題 DyNiAlの磁場中弾性率と四極子応答II
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井勲, 水野拓陽, 熊野聡一郎, 梅野寛大, 鈴木大地, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, M. S. Henriques, 鈴木孝至
2. 発表標題 六方晶Er ₃ Ru ₄ Al ₁₂ の弾性率と結晶場効果
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊野聡一郎, 石井勲, 堀尾隆介, 梅野寛大, 鈴木大地, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, 山村朝雄, 鈴木孝至
2. 発表標題 遍歴メタ磁性転移するUCo _{1-x} O _s xAlにおける超音波分散の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大村幸輝, 松本康宏, 小倉弘幹, 石井勲, 鈴木孝至
2. 発表標題 層状化合物(CH ₃ NH ₃) ₂ CuCl ₄ の熱力学量測定
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅野寛大, 石井勲, 熊野聡一郎, 鈴木大地, 山本理香子, 鬼丸孝博, 鈴木孝至
2. 発表標題 超音波分光法によるカゴ状化合物NdCo ₂ Zn ₂₀ の結晶場効果とラットリングの研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木大地, 石井勲, 熊野聡一郎, 梅野寛大, A. V. Andreev, D. I. Gorbunov, 鈴木孝至
2. 発表標題 DyNiAlの磁場中弾性率と電気四極子応答
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

広島大学 低温物理学研究室
<https://l1labs.hiroshima-u.ac.jp/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	鈴木 孝至 (Suzuki Takashi) (00192617)	広島大学・先進理工系科学研究科・教授 (15401)	
研究協力者	三本 啓輔 (Mitsumoto Keisuke) (50515567)	富山県立大学・教養教育センター・准教授 (23201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	ドイツ国立ドレスデン強磁場研究所			
チェコ	チェコ科学アカデミー			